

부천 LPG 충전소 사고 원인의 쟁점에 대한 고찰

윤재건

한성대학교 기계시스템공학과

Discussions on the issue of the law for the cause of Bucheon LPG station explosion

Jae-Kun Yoon

Dept. of Mechanical Systems Engineering, HANSUNG University

1. 서론

가스사고와 안전대책은 소위 칼과 방패의 관계와 같아서, 사고의 크기와 대책의 규모는 서로 상호적인 자극을 주며 성장하고 있다. 작은 사고이후 강화된 안전 대책 하에서는 작은 사고는 일어나지 않지만 훨씬 적은 빈도의 예상 못했던 새로운 중대사고가 발생한다. 1998년 9월에 발생한 부천 LPG 충전소 사고는 이러한 중대 사고에 해당한다고 생각한다. 특히 1년 주기의 정기검사 직후에 발생하여 정기검사의 사후처리가 완벽하게 이행 되었는가를 의심 받고 있다.

1998년 9월 11일 오후 14시 11분 경 경기도 부천시 오정구 내동에 소재한 LPG 충전소인 대성에너지에서 탱크로리부터 지하저장탱크 하역작업을 하던 중 다량의 가스가 누출되어 화재가 발생하였고 화재가 확산되면서 하역 작업 중이던 탱크로리 2대가 연쇄적으로 폭발하였다. 탱크로리가 폭발하면서 불기둥이 70m 이상 치솟으면서 Fire Ball을 형성하였고 폭발 충격으로 충전소 시설은 물론 주위 반경 100m 인근 주변 건물까지 화재가 확산되어 많은 건물이 소실 되었다. 사상 1명, 부상 91명, 재산피해 130여 억원 등 1995년의 대구 지하철 공사장 폭발사고 이후 최대의 가스사고를 기록하였다.

발생할 확률이 매우 낮다고 인정되어 오던 탱크로리의 BLEVE(Boiling Liquid Evaporating Vapor Explosion)가 있는 지 만 2년이 지난 지금 아직도 사고원인에 대한 의문점이 해결되지 않고 있다. 미궁으로 빠지게 될 가능성이 거의 확실한 사고원인에 대하여 다시 한번 논해보고자 하는 이유는 사고조사 기법과 사고이후 시행된 제반 안전대책이 과연 합리적이고 적정한가에 대한 의문을 조금이라도 경감해 보고자 함이다.

2. 사고원인에 대한 쟁점사항

최초 가스누출지점이 어디냐가 쟁점의 핵심이다. 조금도 누출되어서는 안 되는 가연성가스가 pool 화재를 형성할 만큼 대량으로 누출된 지점이 어디인가는 사고 원인을 밝히는 결정적인 열쇠이다. 그러나 사고이후 2년이 지난 지금 어느 누구도 명백한 증거와 근거를 갖고 밝히지 못할 것이다. 다만 밴트밸브와 로리 호스의 연결부에 대한 논란의 와중에 제기된 근거에 대하여 살펴 보고자 한다.

액체부탄이 대기중에 누출되는 순간에 부탄의 상(phase)이 완전한 액상이나 빠른 기화에 의해 혼합상 (기상+액상)이냐는 것이다. 부탄의 대기압에서의 기화 온도가 -0.5°C 이므로 상온에서 평형상태에 이르면 기체로 존재하여야 하지만 액체상태로 대기압에 노출될 경우 열전달에 시간이 많이 소요된다. 이 시간의 절대값이 얼마인가는 액체부탄의 주위환경에 따라 크게 달라진다. 누출의 초기상태를 어떻게 가정하는 것이 타당한지를 위하여 간단한 실험을 수행하였다.

부탄은 실험실내의 대기에서 평형상태에 이르면 기체로 존재하게 되지만 많은 양의 부탄을 다룰 때는 기화된 증기나 액체 부탄이 장치 등의 온도를 충분히 저온으로 만들거나 약간의 압력 하에서 액체상태를 유지한다. 또한 기화하기 위한 잠열이 아주 커서 액체 부탄은 상당한 시간동안 액체 상태로 다루어 질 수 있다. 다만 노즐을 통해 고속으로 분사되는 경우에는 액적이 깨어지거나 바닥에 충돌하는 등의 과정에서 급격히 기화된다. 부탄을 상 방향으로 분사할 경우 부탄의 밀도가 공기보다 크기 때문에 바닥으로 계속 흘러 내리게 되므로 본 실험에서는 하 방향 분사를 선택하였다.

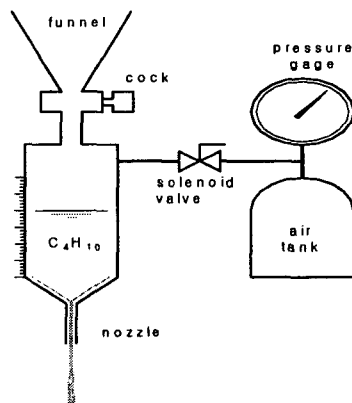


Figure 1. Experimental apparatus

부탄의 분사를 위한 실험장치는 Fig.1과 같다. 액체 부탄을 깔때기(funnel)를 통해서 분사용 용기(injection tank)에 주입한다. 콕크(Cock)를 잠그고 솔레노이드 밸브(solenoid valve)를 열어서 공기 압축 탱크내의 일정 압력의 공기를

주입함으로써 부탄의 분사 속도를 조절하였다. 부탄의 분사 속도는 분사용 용기에서 액주 높이의 변화를 측정하여 계산하였다. 노즐은 0.4mm, 0.52mm의 내경을 가지는 주사기 바늘의 끝 단을 평면으로 가공하여 사용하였다. 부탄분출체트의 거동을 살펴보기 위하여 1/1000초의 간격으로 Shadow photography를 행하였다.

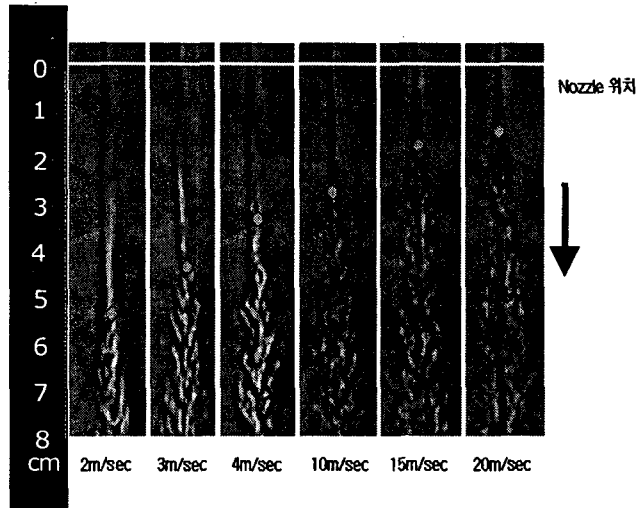


Figure 2. Shadow photography of LPG injection jet

Fig.2은 shadow 사진으로 증발하는 부탄 기체의 모습과 액주의 길이를 확실히 볼 수 있다. 하류로 갈수록 액주의 두께가 작아지면서 증발이 일어나는 것을 shadow사진에서 확인할 수 있다. 하류로 가면서 또한 분출속도가 커지면서 증발이 급격히 일어난다. 비교적 분출속도가 빠르고 노즐의 직경이 작아 액주의 기화가 급격히 이루어지리라 예상했으나 생각보다는 액주의 존재가 길게 유지된다. Fig.2의 조건은 노즐 직경이 0.52mm이고, 노즐 출구 속도를 변화 시켰다. 이러한 속도의 변화는 액체부탄을 밀어내고 있는 공기의 압력을 증가 시켜 얻는다. 급격한 증발이 일어날 때까지의 액주의 일정한 길이가 있는데 이 길이는 분사 속도에 따라 달라진다. 분사속도가 빨라짐에 따라 그 거리가 짧아지게 되는데 이는 난류와 주위공기와의 열전달의 증가에 기인한 것이다. 일반적으로 LPG시설에서의 누출에서 완전한 액상으로의 누출은 일어나기 어렵다고 보는 것이 일반적이다. 따라서 LPG에 의한 풀(pool)화재의 가능성은 매우 적다고 본다. 그러나 부천 충전소 사고와 같은 탱크로리의 BLEVE(Boiling Liquid Evaporating Vapor Explosion)는 풀화재에 의한 것이고, 이러한 풀화재의 가능성은 부탄의 완전한 액상누출로부터 확인할 수 있다.

3. 맺음말

액체부탄의 대기중 분출실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다. 상온, 상압의 대기중으로의 액체부탄분출제트는 상당한 거리를 진행할 때까지 액체상태를 유지한다. 대기와의 낮은 온도차이와 부탄의 낮은 증기압이 급격한 상 변화를 유발하지 않는다. 따라서 액체부탄이 누출할 경우 액상만의 제트가 가능하다. 이렇게 액상만으로 누출될 경우 부탄에 의한 폭발재의 가능성은 충분하다.

부천 LPG충전소에서의 중대사고 발생의 여파로 여러 가지 안전대책이 마련되었다. 로리호스의 로리암으로의 대체, 탱크로리 정차위치의 살수장치 등의 설비 보완과 소위 안전거리의 대폭 증대를 가져왔다. 안전거리의 증대는 도심지역의 신규충전소의 설치와 기존충전소의 증설을 불가능하게 하였다. 그러나 급속한 LPG차량의 증가에 힘입어 LPG 판매량의 증가는 기존충전소의 위협요인을 오히려 증대 시키고 있다.

후기

본 원고의 작성을 지원한 한성대학교 안전과학기술연구소에 감사의 뜻을 표합니다.

참고문헌

1. 한국가스안전공사, 가스폭발사고 관련 진행보고서, KGS2000-053, 2000
2. 윤재건, “액화 석유가스의 대기중 누출현상에 대한 고찰” 한국산업안전학회지, 제15권, 제2호, pp.59-62, 2000
3. 유석기, LPG 및 도시가스 실무핸드북, 구민사, pp. 664-693, 1992.
4. 박교식, 가스안전공학, 청문각, pp. 586-590, 1999.
5. Daniel A. Crowl and Joseph F. Louvar, “Chemical Process Safety; Fundamental with Applications” Prentice-Hall, 1990.
6. Sam-Kew Row, “Study for the Survey of Major Accident at Bucheon LPG Refueling Station” Proceedings of the 1st Conference of the Association of Korean-Japanese Safety Engineering Society, pp.249-251, 1999.